

論文の内容の要旨

ACTIVE VIDEO DELIVERY: A NEW ROUTER-ASSISTED GROUP COMMUNICATION SERVICE

(アクティブ・ビデオ・デリバリー：
新しいグループ通信サービスの提案)

氏名：許 志彰

最近の急速なブロードバンドネットワークの普及、また高度なマルチメディア技術の発展により、高品質なビデオストリーミングサービスは大きな期待を集めている。

いつでもどこでもインターネットを通して高品質のストリーミングサービスをユーザに提供するビデオ・オン・デマンド(VoD)システムは、今後ますます大規模な商用システムになると期待されている。現在、VoDに関する主な研究はビデオ・サーバの帯域幅要求、ネットワーク転送コスト、およびユーザ側の開始遅延などの問題が中心となっている。これらの研究によりビデオ・サーバの必要帯域幅要求を大幅に減少し、ユーザ側の開始遅延もある程度削減できることがわかっている。しかし、これらの提案のほとんどは全ての転送経路に Multicast 可能なルータを配備することを前提としている。これは現在の IP ネットワークの環境では現実的ではない。

一方、ビデオ会議用のアプリケーション及びプラットフォームの研究開発はユーザフレンドリーなインタフェース、シームレスなオーディオ/ビデオの融合、また多機能性等が中心になっている。これらはより豊かなビデオ会議システムの設計に不可欠であるが、多地点でのインタラクティブ・グループ・コミュニケーションの効率的な実現方式、ネットワーク/サーバの帯域幅の影響およびその管理についての分析や議論は不足しているのが現状である。

本論文では、大規模なオンデマンドサービスならびにインタラクティブ・マルチポイント・サービス実現のためインフラストラクチャの整備、Active Networks 技術に基づく Active Video Delivery(AVD)と呼ばれるメカニズムを提案する。AVD は、ネットワーク層(IP 層)のフォワーディング機能(つまり、IP Multicast)及びアプリケーション層の管理機能を利用し、効率的かつ柔軟性のある仕組みを実現している。

従来の IP Multicast のアプローチと異なり、AVD メカニズムで提案したプロトコルの場合、すべてのルータにマルチキャスト機能が実装されている必要はなく、一部のルータのみがマルチキャスト機能を有すれば AVD は実現できる利点がある。また、分岐点での Active Routers(AR)のみがネットワーク状態を管理、維持すれば良いため、既存 IP Multicast と比較してネットワーク状態の管理・維持量を大幅に減少させることが可能となる。さらに、AVD メカニズムの場合、既存 IP Multicast のように Multicast グループごとに特定の IP アドレスを割り当てる必要がなく、Unicast と同様に極めて簡単にサービスが開始できる。

グループ・コミュニケーションは今後ますます高度化していくことが予想されるが、特に双方向のコミュニケーション基盤が利用可能であり、しかも受信・発信どちらの方向についても同程度の帯域が利用できる環境の構築が急務であり、本論文で提案している AVD メカニズムはまさにそれを目的としている。

本論文は以下の通り構成されている。

第1章で序論を述べたのちに、第2章では研究の背景ならびに既存研究について、AVDメカニズムを実現するにあたっての問題点について議論するとともに、グループコミュニケーションサービスに関する現在までの研究動向についても議論している。続いて、これらの比較を行い、これらの方式がどのようにAVDメカニズムの設計に利用できるかについて議論している。

第3章では”Active Video Delivery”と題し、AVDの概要について記述している。具体的には、AVDがどのように現在のIP Multicastと異なるのか、また、AVDの目標と予想される結果について提示している。さらに本章の後半では、AVDメカニズムで定義される2つのモデル(集中型モデル/分散型モデル)の違いについて簡潔に述べている。

続いて、集中型AVDアーキテクチャについて議論している。具体的には、集中型AVDメカニズムにおいてActive Packetが配送経路(経路)に沿ってどのようにActive Routers(AR)を検出するのについて議論し、その後、AVDツリー生成処理を提示している。この処理は、ユーザのJOIN処理とActive RouterのREV_JOIN処理、また、AVDツリー最適化のためのOPT_JOIN処理、PRUNE処理、RTT_Estimate処理を提案している。また本章の最後では、AVDツリーを効率的に管理するための2つのメッセージ(HeartbeatおよびAlive)について議論する。

第4章では”分散型AVDアーキテクチャ”を題し、分散型AVDツリー構造について議論する。はじめに分散AVDモデルを提案する。これは大規模なグループコミュニケーションに適しているモデルである。第3章で述べられている集中型AVDモデルでも使用されているユーザのJOIN、Active RouterのREV_JOIN、ならびにAVDツリーの最適化、管理のための手法について検討する。

第5章は”AVDの応用”を題し、2つのAVDアプリケーションを紹介している。最初にVideo Mergingというアルゴリズムの提案について説明し、真の意味でのOn-Demandサービスを実現するためのアルゴリズムを提案している。具体的には、

まず、提案アルゴリズムはビデオ・サーバ帯域幅及びネットワークコストへの影響について理論分析する。そのあと、それらの評価項目の最適化をするため、マルチプルのAVD(Multiple AVD)を提案し、ユーザ間でより効率的にデータを共有できることを証明した。

次に、AVDで構成されたマルチキャスト可能なインフラ上でどのようにこのアプリケーションが動作するのかを議論し、さらに、仮にユーザ間でビデオサーバへのリクエストの時間が異なっても高効率にデータを共有し配送することが可能であることを示す。2つのAVDアプリケーションはBroafarenceである。Broafarenceとは、多地点、すなわち、N*N型のインタラクティブ型協調ビデオ配信サービスである。最初にユーザをどのようにグループリングするのかについて議論し、続いて、近傍サーバリストを利用することによって、サーバとユーザの中間に位置するすべてのActive Routerで維持しなければならないネットワーク状態の量を大幅に減少させることが可能となることを示す。以上のことから、AVDメカニズムは、グループコミュニケーションサービスの構築に柔軟に対応できることがわかる。

第6章では、“AVDの評価”と題し、シミュレーションモデル・条件の明確化と評価結果について概説する。まず、集中型AVDアーキテクチャ、分散型AVDアーキテクチャのそれぞれについて、OPNETと呼ばれるネットワークシミュレータで構成する場合の各ネットワーク構成要素(サーバ、ユーザ、Active Router等)の実現法について述べる。続いて、ネットワークコストおよびサーバ帯域幅等の性能に関してAVDメカニズムの詳細な評価を行う。さらに、様々なネットワークトポロジーとトラフィック条件のもとで評価を行った結果、AVDメ

カニズムを利用したアプリケーションは、ビデオ・サーバ帯域幅の低減、ネットワークコストの最小化、平均リンク・ロードの最適化等を実現できることがわかった。最後に、Active Router 数(全ルータ中の Active Router の割合)とネットワークの性能について評価した。AVD はすでに前述した通り既存 IP Multicast 等とは異なりネットワーク中にすべてのルータが Multicast 機能を搭載している必要はない。実際、わずか 25%程度のルータが Active であれば AVD の利点を享受できることを明らかにしている。

第 7 章はまとめであり、本論文の研究成果をまとめ、残された課題や今後の研究の方向性について整理している。

以上のように、本論文では従来困難であった Multicast の実現を Active Network 技術を基礎として解決することを目的としており、集中型 AVD アーキテクチャ、分散型 AVD アーキテクチャを提案することにより、従来解決が困難であった様々な問題を解決することに成功した。さらに、AVD で構成されたマルチキャスト可能なインフラ上で真の意味での On-Demand サービス、(Video Merging アルゴリズム)と N*N 型のインタラクティブ型協調ビデオ配信サービス(Broadference)の二つのアプリケーションを構築し、それらの有効性及び効率性を検証するため、理論分析及び詳細シミュレーションを行っている。

理論分析及びシミュレーションの結果により、AVD ストリーム再生条件の閾値が適切に選ばれれば、提案した AVD メカニズムがビデオ・サーバの要求帯域、ネットワークコスト、平均リンク・ロードなどを大幅に減少させることが可能にした。また、大規模なグループコミュニケーションサービスを実行している際に、サーバとユーザの中間に位置するすべての Active Router で維持しなければならないネットワーク状態の量を近傍サーバリストを利用することにより大幅に減少させることが可能となった。